

基于灰色关联度的陕西电网负荷特性影响因素分析

近年来, 电力需求发生了较大变化, 负荷特性也随之呈现出新的特点。分析负荷特性的影响因素有利于提高负荷预测的准确率, 为电网规划提供重要依据。根据陕西省2005~2014年历史经济与用电数据、重点行业用电水平与负荷特性数据等相关资料, 统计分析近年来陕西地区的负荷特性指标。以灰色系统理论为数学基础, 分析三大产业结构中的典型负荷、气温和降水等重要影响因素与负荷特性指标的关联性。总结得出影响负荷特性指标的主要因素, 有利于电力部门的调度规划分析, 更好地掌握负荷特性变化情况和规律。

徐衍会 王晨语/华北电力大学电气与电子工程学院

0 引言

新常态下, 我国的经济发展从高速增长转向中高速增长, 并迈向中高端水平的转折时期。经济方面, 产业结构调整由传统主导产业转向新型主导产业。产业结构和用电结构将得到进一步优化。随着高耗能行业增速下降, 第二产业用电增长明显放缓, 将处于中低速水平; 第三产业受现代服务业的拉动, 居民生活用电受居民收入和生活水平提高的带动, 都将保持较快增长。经济结构的调整也将影响全社会的负荷特性变化。除此之外, 影响负荷特性的因素还有很多, 如地区GDP、人口总量、城镇化率、气温和降水等。因此, 定量分析各类影响因素与负荷特性指标的相关联程度, 对掌握负荷的变化规律和进行下一阶段的负荷预测具有重要影响。

目前, 分析关联性的方法有很多, 如灰色关联度分析、主成分分析以及相

关系系数法等。相比于其他方法, 灰色关联度分析法对样本数据数量、分布情况要求不大, 而且两者之间没有直接明显的强关联性。灰色关联度计算的结果也比较准确, 与定性分析结果比较吻合。

负荷特性的影响因素分析有多种角度多种方法。文献[1]主要定性分析了典型日、电价等社会因素与负荷特性的影响关系。文献[2]主要定性分析了社会各种典型负荷, 如节假日负荷、大用户负荷等对整体负荷特性的影响。文献[3]定量分析了温度、降水和节假日等因素与负荷特性的关系。文献[4]总结了与负荷特性有关的各类影响因素, 并分析了影响因素之间的内在联系。但对于近年新常态经济下的产业结构调整变化这一发展趋势, 三大产业的典型负荷变化等重要影响因素对负荷特性的变化情况分析研究的还不多。本文根据新常态下经济结构调整情况, 充分调研收集陕西省全网近年来负荷数据等相关资料, 从负荷特性指标入手研究, 深入分析负荷的变化情况, 量化分析了典型负荷比重、气温和降水等影响因素与负荷特性指标的关联性, 研究陕西省经济结构的变化对负荷特性指标的影响, 并掌握负荷特性的变化规律。

1 灰色关联分析理论

灰色关联分析是灰色系统理论的基础, 也是一种系统的分析方法, 灰色关联分析是对系统变化发展的定量描述和比较的方法, 主要依据空间理论的数学



徐衍会/副教授

关键词/Keywords

负荷特性 ·
量化分析 ·
灰色关联度 ·
负荷特性指标 ·

基础,按照规范性、偶对称性、整体性和接近性的灰色关联四公理原则,确定参考序列和若干个比较数列之间的关联度^[5]。

灰色关联分析的核心是计算关联度。关联度是两个系统或两个要素关联性大小的量度,其基本思想为:根据序列曲线几何形状的相似程度来判断其关系是否密切。曲线越接近,相应序列之间的关联度就越大,反之越小。关联度的计算首先要确定分析序列,其次要对原始序列进行无量纲处理,然后计算关联系数,由此计算出关联度,并排出关联序。其主要步骤如下:

1) 选择*i*个主要影响因素 ($X_0, X_1, \dots, X_i$), 确定系统特征序列 ($Y_0, Y_1, \dots, Y_j$)。列出序列矩阵为

$$(Y_j, X_0, X_1, \dots, X_i) = \begin{pmatrix} y_j(0) & x_0(0) & \cdots & x_i(0) \\ y_j(1) & x_0(1) & \cdots & x_i(1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ y_j(t) & x_0(t) & \cdots & x_i(t) \end{pmatrix} \quad (1)$$

2) 由于影响因素子序列与系统特征序列的量纲和数量级不同,不便于进行比较。所以在进行定量分析之前,要先对原始数据进行无量纲处理,常采用的方法为初值化和均值化。得到初始化后的矩阵为

$$(Y'_j, X'_0, X'_1, \dots, X'_i) = \begin{pmatrix} y'_j(0) & x'_0(0) & \cdots & x'_i(0) \\ y'_j(1) & x'_0(1) & \cdots & x'_i(1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ y'_j(t) & x'_0(t) & \cdots & x'_i(t) \end{pmatrix} \quad (2)$$

3) 求差值矩阵如下

$$\Delta_{ji}(t) = |y_j(t) - x_i(t)|$$

$$= \begin{pmatrix} \Delta_{j1}(0) & \Delta_{j2}(0) & \cdots & \Delta_{jm}(0) \\ \Delta_{j1}(1) & \Delta_{j2}(1) & \cdots & \Delta_{jm}(1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \Delta_{j1}(t) & \Delta_{j2}(t) & \cdots & \Delta_{jm}(t) \end{pmatrix} \quad (3)$$

由差值矩阵可得到最小差 $m = \min_i \min_i \Delta_{ji}(t)$;

最大差 $M = \max_i \max_i \Delta_{ji}(t)$ 。

4) 计算关联系数,即

$$\lambda_{ji}(t) = \frac{m + \rho M}{\Delta_{ji}(t) + \rho M} \quad (4)$$

式中, ρ 为分辨系数,用来削弱最大差过大而使关联系数失真的影响,是 $0 \sim 1$ 之间的数,一般取 0.5 。

5) 计算加权关联度。一般情况下,时间越近,影响的程度越大,选择合适的 n 个年份权重 $\omega(t)$, 计算关联度。

经过若干次计算,可分别得出以 Y_j 为准的加权关联度序列为

$$r_{ji} = \sum_{t=0}^n \omega(t) \lambda_{ji}(t) \quad (5)$$

2 陕西地区负荷特性影响因素分析

2.1 负荷特性指标的选取

负荷特性指标从形式上来分有曲线型和数值型,从时间上来分有年负荷特性指标、月负荷特性指标和日负荷特性指标,有的用于分析计算,有的用于各地区之间横向比较,还有的可以为电网规划提供依据。由于负荷特性指标数量较多,在具体问题具体分析时,不方便全部计算出来,应选取有代表性的指标进行分析。

(1) 年最大负荷

年最大负荷对于电网规划很重要。其可以直观地表现出整年电网的负荷情况,和经济的发展也有着直接关系。

年最大负荷的变化情况如图1所示,其分布情况如表1所示。

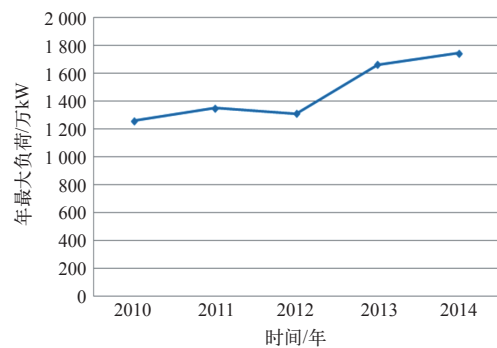


图1 年最大负荷的变化

表1 年最大负荷分布情况

年份/年	年最大负荷/万kW	季节	时间	日期
2010	1 261.98	冬季	19: 00	12.31
2011	1 352.62	冬季	19: 00	12.19
2012	1 593.23	冬季	19: 00	12.25
2013	1 644.86	冬季	19: 00	12.23
2014	1 744.92	夏季	17: 00	7.31

(2) 年负荷率

年负荷率与用电结构的变化也有着直接的关系。受三大产业的特性影响,随着产业结构的变化,第二产业比重的下降和增长速度的放缓,年负荷率有所下降。

年负荷率的变化如图2所示,其分布情况如表2所示。

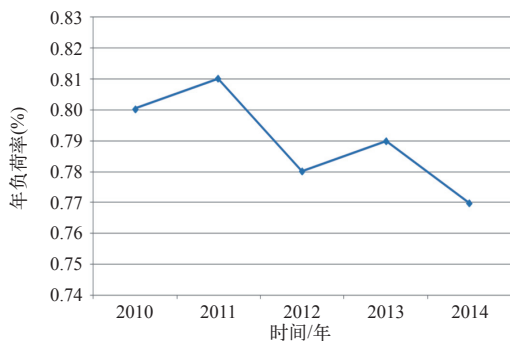


图2 年负荷率的变化

表2 年负荷率分布情况

(单位: %)				
2010年	2011年	2012年	2013年	2014年
0.80	0.81	0.78	0.79	0.77

(3) 年最大峰谷差

年最大峰谷差对于电网的经济性运行有着重要的影响,有利于需求侧管理工作的进行,并合理地安排调峰容量。

年最大峰谷差指标的变化如图3所示,其分布

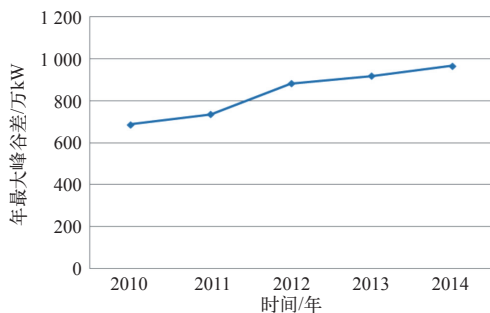


图3 年最大峰谷差指标的变化

情况如表3所示。

表3 年最大峰谷差分布情况

(单位: 万kW)

2010年	2011年	2012年	2013年	2014年
688.5	735.2	833.1	919.0	968.0

(4) 年最大负荷利用小时数

年最大负荷利用小时数与三大产业的比重变化有着直接的关系。随着产业结构的变化,年最大负荷利用小时数也随之发生较大改变。这个负荷指标对于陕西省的产业结构变化有着重要的影响,对负荷的预测工作也有着很大的意义。

年最大负荷利用小时数的变化如图4所示,其分布情况如表4所示。

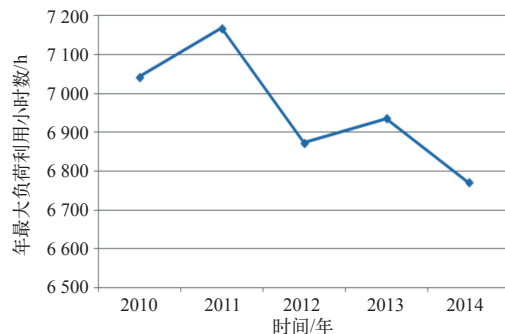


图4 年最大负荷利用小时数的变化

表4 年最大负荷利用小时数分布情况

(单位: h)

2010年	2011年	2012年	2013年	2014年
7 043	7 167	6 873	6 935	6 771

(5) 年平均月不均衡系数

年平均月不均衡系数与月内负荷的生产顺序、厂内大修小修以及负荷调整等因素有直接联系,为负荷预测提供依据。

年平均月不均衡系数变化情况如图5所示,其

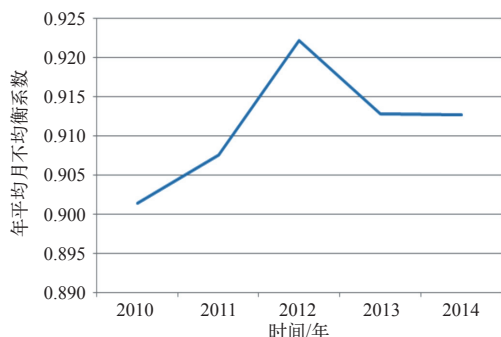


图5 年平均月不均衡系数变化情况

分布情况如表5所示。

表5 年平均月不平衡系数分布情况

2010年	2011年	2012年	2013年	2014年
0.901 4	0.907 6	0.922 17	0.912 81	0.912 745

(6) 季不平衡系数

季不平衡系数为年内季节变化引起的负荷变化，以季节性负荷、大用电设备负荷的影响为主。季不平衡系数表示年负荷曲线的波动变化和各月的负荷差异情况。季不平衡系数越大，全年各月之间的负荷差异性越小。

季不平衡系数变化情况如图6所示，其分布情况如表6所示。

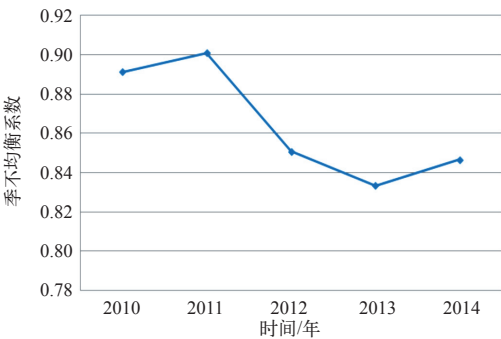


图6 季不平衡系数变化情况

表6 季不平衡系数分布情况

2010年	2011年	2012年	2013年	2014年
0.891 3	0.901	0.850 8	0.833	0.846 5

综上所述，年最大负荷、年负荷率、年最大峰谷差、年最大负荷利用小时数、年平均月不平衡系数以及季不平衡系数均与产业结构的变化有较大联系，能直接反映出近年来三大产业比重和负荷的改变情况。选择以上六项负荷特性指标为主要描述指标。

2.2 主要影响因素的选取

选取负荷特性指标时，综合考虑各种负荷特性指标的定义与影响因素。在影响负荷特性变化因素分析中，根据近年来新常态经济结构调整情况，选取变化较大且具有代表性、与经济调整关联性较大的影响因素进行分析。选取第一产业的农业，第二产业的采矿业、电力燃气行业，第三产业的商业以及人口总量、GDP、城镇化率、居

民收入、气温和降水这10个主要影响因素，构成影响负荷特性变化的影响因素子序列。这10个影响因素随着经济结构调整有较大变化，且与负荷特性关系密切。

2.3 负荷特性指标与影响因素的关联度分析

新常态经济下，随着陕西省三大产业结构发生变化，负荷特性也随之改变。在负荷特性定性分析的基础上，以灰色系统理论为数学基础，对产业结构变化中典型行业比重、GDP和城镇化率等有关影响因素与负荷的相关性进行定量的分析。影响因素数据如表7所示，主要负荷特性指标如表8所示。

表7 影响因素数据列表

年份/年	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
2010	5.1	10.4	20.2	3.1	3 773	10 021	19.8	44.5	43.5	15 695
2011	4.9	11.3	20.7	3.1	3 742	12 391	18.9	60.3	47.3	18 245
2012	4.5	11.4	21.5	3.4	3 753	14 451	18.8	33.0	50.2	20 734
2013	4.6	12.3	20.9	3.7	3 763	16 045	21.5	36.0	51.3	22 858
2014	2.3	18.2	20.8	4.2	3 775	17 289	19.8	55.6	52.5	24 366

注：X₀—农业负荷比重；X₁—采矿业负荷比重；X₂—电力燃气业负荷比重；X₃—商业负荷比重；X₄—人口总量；X₅—GDP；X₆—气温；X₇—降水量；X₈—城镇化率；X₉—居民收入。

表8 主要负荷特性指标数据列表

年份/年	Y ₀ /万kW	Y ₁ /h	Y ₂ /万kW	Y ₃	Y ₄	Y ₅
2010	1 073.22	7 043	373.8	0.80	0.90	0.89
2011	1 165.64	7 167	423.89	0.81	0.91	0.90
2012	1 312.30	6 873	509.1	0.78	0.92	0.85
2013	1 423.063	6 935	534.2	0.79	0.91	0.83
2014	1 540.73	6 771	622.5	0.77	0.91	0.84

注：Y₀—年最大负荷；Y₁—年最大负荷利用小时数；Y₂—年最大峰谷差；Y₃—年负荷率；Y₄—年平均月不平衡系数；Y₅—季不平衡系数

由此可求得负荷特性指标的加权关联度，如表9所示。

表9 关联度数据列表

	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
Y ₀	0.594	0.802	0.751	0.714	0.531	0.847	0.523	0.385	0.678	0.724
Y ₁	0.671	0.692	0.833	0.642	0.537	0.507	0.879	0.463	0.721	0.614
Y ₂	0.583	0.829	0.778	0.656	0.527	0.803	0.527	0.511	0.736	0.854
Y ₃	0.643	0.726	0.706	0.671	0.944	0.496	0.897	0.646	0.715	0.608
Y ₄	0.651	0.734	0.951	0.698	0.44	0.562	0.612	0.666	0.781	0.723
Y ₅	0.517	0.705	0.877	0.761	0.522	0.761	0.895	0.604	0.747	0.715

根据以上计算结果分析如下。

(1) 年最大负荷

年最大负荷与全省经济总量、居民收入和城镇化率的经济因素有很大关联性，这些经济因素与最大负荷的变化息息相关。由三大产业比重可以看出，第二产业在产业结构中占有重大的比例，约为80%，而总负荷的70%~80%为第二产业负荷。所以第二产业的负荷对年最大负荷有很大影响。随着近些年来第三产业的比重逐渐加大，计算关联度时考虑到了“近大远小”的时间段权重，第三产业负荷与年最大负荷也有较强的关联性。而从表中可以看出，气温、降水因素对年最大负荷影响不大。

(2) 年最大负荷利用小时数

由于第二产业中的高耗能负荷同时率较高且负荷率较大，与最大负荷利用小时数有着较高的关联性。第一产业与年最大负荷利用小时数的关联性次之，而第三产业与其的关联性最小。城镇化率与年最大负荷利用小时数有着较强关联性。而在陕西地区，降温和供暖负荷在总负荷中占有较大比例，导致气温与最大负荷利用小时数也有着较强的关联性。

(3) 年最大峰谷差

年最大峰谷差与经济总量、采矿业负荷、电力燃气业负荷、城镇化率和居民收入有着很强的关联性，其他的影响因素关联程度一般。随着经济的高速发展，家用电器的利用率大幅上升，GDP对年最大峰谷差有着很大影响。

(4) 年负荷率

年最大峰谷差与采矿业负荷、电力燃气业负荷、温度、城镇化率和人口总量有着很强的关联性，其他的影响因素关联程度一般。年负荷率与第二产业中的高耗能负荷有着较大的关联性，与第一、第三产业关联性较小。而第二产业的重工业负荷同时率较高，随着第二产业、第一产业的比重增加，负荷率也会增加。相反，第三产业增加，年负荷率会减小。

(5) 年平均月不均衡系数

通过分析可以看出，年平均月不均衡系数与

第二产业负荷比重、城镇化率和居民收入的关联性较强。三大产业结构变化，第二产业与年平均月不均衡系数的关联性最密切。

(6) 季不均衡系数

季不均衡系数与经济总量、采矿业负荷、电力燃气业负荷、商业负荷、温度、城镇化率和居民收入的关联性大。随着近几年经济的发展，城镇化率和居民收入的上升，季不均衡系数有所下降，负荷峰值水平差异增大。

3 结束语

通过对负荷特性指标的相关影响因素分析可以看出，在社会经济性因素中，人口总量、GDP、城镇化率、人口总量和温度等都对负荷特性有着较大影响。而随着近年来产业结构变化，第二产业的比重有所下降，而第三产业的比重上升。这一产业结构的改变使年最大负荷逐年上升，年最大负荷小时数和年负荷率有所减小，峰谷差逐年拉大。

本文利用灰色关联度理论，量化了相关影响因素和负荷特性指标的关联度，分析了陕西电网负荷的特性影响因素。年最大负荷的主要影响因素为第二和第三产业的负荷比重、经济总量、城镇化率和居民收入。年最大负荷利用小时数的主要影响因素为第二产业负荷比重、气温和城镇化率。年最大峰谷差的主要影响因素为第二和第三产业的负荷比重、地区的年GDP、城镇化率和居民收入。年负荷率的主要影响因素为第二产业负荷比重、地区人口总量、城镇化率以及温度。年平均月不均衡系数的主要影响因素为第二产业负荷、温度、城镇化率和人口总量。季不均衡系数的主要影响因素为第二和第三产业负荷、GDP、温度、城镇化率和居民收入。

基于灰色关联度的理论分析，得出在新常态经济下影响负荷特性的主要因素，为提高电网运行经济性、电网的整体规划发展和负荷预测提供了可靠依据，有利于更好地掌握负荷的变化规律情况。

(收稿日期：2016-12-24) **EA**